

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

TIAGO CERQUEIRA

Análise morfométrica e uso da terra na APA Itupararanga

**São Paulo
2023**

Tiago Cerqueira

Análise morfométrica e uso da terra na APA Itupararanga

Trabalho de Graduação Individual
apresentado ao Departamento de
Geografia da Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo como
parte dos requisitos para a obtenção
do título de Bacharel em Geografia.

Disciplina: Trabalho de Graduação
Individual II

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Paul
Pérez Machado

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

C 411a Cerqueira, Tiago
Análise morfométrica e uso da terra na APA
Itupararanga / Tiago Cerqueira; orientador Reinaldo
Paul Perez Machado - São Paulo, 2023.
56 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Análise morfométrica. 2. APA Itupararanga. 3.
Hidrografia. I. Machado, Reinaldo Paul Perez, orient.
II. Título.

Agradecimento

Ao meu orientador pelo tempo e dedicação compartilhado na orientação deste trabalho.

RESUMO

A qualidade das águas reflete as condições de uso e ocupação da terra adjacente. No intuito de tentar estabelecer um equilíbrio entre atividades humanas e conservação ambiental se criaram áreas conservadas, como as Áreas de Proteção Ambiental (APA). Este tipo de unidade de conservação se caracteriza como uma área extensa que admite um grau de ocupação humana desde que discipline a ocupação humana e cumpra os atributos de conservação. Neste sentido este estudo teve como objetivo avaliar as condições hidrográficas das principais bacias incluídas na APA Itupararanga. Para essa finalidade, adotou-se a análise morfométrica com a elaboração do mapa de uso da terra para se entender as condições de conservação dos recursos hídricos. Os resultados mostram pouca tendência para a ocorrência de enchentes, favorável escoamento superficial, média densidade de drenagem, pequenas áreas manutenção de canais, pequenas áreas de extensão média de escoamento superficial, baixo potencial para movimentos de massas e degradação da bacia. É necessária atenção para a ameaça antrópica causada pelas atividades agrícolas e alta fragmentação florestal.

Palavras-chaves: Análise morfométrica; APA Itupararanga; Hidrografia; Sub-bacias.

ABSTRACT

Water quality reflects the conditions of use and occupation of adjacent land. To try to establish a balance between human activities and environmental preservation, environmental areas were created, such as Environmental Protection Areas (APA). This type of conservation unit is an extensive area that admits a degree of human occupation as long as it disciplines human occupation and fulfills conservation attributes. In this sense, this study aimed to evaluate the hydrographic conditions of the main basins included in the APA Itupararanga. For this purpose, morphometric analysis was adopted with the elaboration of the land use map to understand the conservation conditions of water resources. The results show little tendency for the occurrence of floods, favorable surface runoff, medium drainage density, small areas of canal maintenance, small areas of average extension of surface runoff, low potential for mass movements, and degradation of the basin. Attention is needed to the anthropogenic threat caused by agricultural activities and high forest fragmentation.

Keywords: Morphometric analysis; APA Itupararanga; Hydrography; Half basins

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Objetivos.....	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. Revisão da literatura.....	12
3.1. Unidades de conservação.....	12
3.2. Área de Proteção Ambiental Itupararanga.....	13
3.3. Bacia Hidrográfica.....	17
3.4. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	18
3.5. Análise morfométrica.....	20
4. Metodologia.....	21
4.1. Área de estudo.....	21
4.2. Obtenção dos dados.....	22
4.3. Processamento dos dados.....	22
4.4. Parâmetros Morfométricos.....	23
5. Resultados e discussão.....	30
5.1. Resultados morfométricos.....	30
5.2. Uso da terra.....	37
5.3. Relação morfometria e uso da terra.....	47
6. Conclusão.....	49
7. Referências bibliográficas.....	50

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localização da APA Itupararanga.....	14
Figura 2. Represa Itupararanga.....	15
Figura 3. Loteamento de alto padrão próximo a represa.....	16
Figura 4. Esgoto a céu aberto.....	16
Figura 5. Representação de uma bacia hidrográfica.....	17
Figura 6.UGRHIS do estado de São Paulo.....	18
Figura 7. Área de estudo.....	21
Figura 8. Sub-bacias delimitadas.....	31
Figura 9.Hipsometria das sub-bacias.....	33
Figura 10. Mapa de solos.....	36
Figura 11. Mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Una.....	39
Figura 12. Mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Sorocabuçu.....	41
Figura 13. Mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Sorocamirim.....	43
Figura 14. Área de produção agrícola.....	45
Figura 15. Área urbana consolidada de Caucaia do Alto.....	46
Figura 16. Abertura de loteamento sobre áreas florestais.....	47

Lista de quadros

Quadro 1. Categorias do SNUC.....	12
Quadro 2. Enquadramento das águas.....	19
Quadro 3. Classes do Índice de circularidade.....	25
Quadro 4. Padrões de drenagem.....	26
Quadro 5. Classificação da drenagem.....	27
Quadro 6. Classificação da densidade hidrográfica.....	28
Quadro 7. Classificação do índice de sinuosidade.....	30
Quadro 8. Resultados morfométricos.....	31
Quadro 9. Principais usos da terra por sub-bacia em Km ²	45

Lista de siglas

APA - Área de Proteção Ambiental

CBH-SMT - Comitê das Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Cm - Coeficiente de manutenção

Cv - Coeficiente de variação

Dd - Densidade de drenagem

DP – Desvio padrão

Dh - Densidade hidrográfica

Ff- Fator de forma

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Ic - Índice de circularidade

ICTEM - Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município

Ir - Índice de rugosidade

Is - Índice de sinuosidade

Kc - Coeficiente de compacidade

MDE - Modelo Digital de Elevação

Pd - Padrão de drenagem

Re - Razão de alongação

Rr - Razão de relevo

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UC - Unidade de Conservação

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

1. Introdução

Os ecossistemas aquáticos sofrem diversos danos ambientais decorrentes da sua ampla exploração pela atividade antrópica. A produção de energia elétrica e o desvio do curso natural dos rios para a irrigação, por exemplo, ocasiona uma interferência dos canais, o que conseqüentemente altera a morfologia e a ecologia associada aos lagos, frequentemente de forma negativa. Além disso, esses ecossistemas regulamente se tornam o destino de águas residuais – como atividade industrial e agropecuária, o que contribui para a precarização das condições naturais das comunidades bióticas. A soma do descarte de contaminantes com a degradação das condições naturais de vegetação e do escoamento resulta na baixa qualidade dos recursos hídricos e na perda de biodiversidade (OGASHAWARA *et al.*, 2014).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é um exemplo dos efeitos da rápida urbanização e ocupação humana, que nos últimos 50 anos têm ultrapassado a provisão adequada de saneamento (BEYRUTH, 2000). O acelerado estágio de urbanização com infraestrutura precária é um dos grandes riscos que afetam diretamente a qualidade da água. Entretanto este padrão de desenvolvimento é seguido por outras regiões com os mesmos danos ambientais em especial, à água.

Dessa forma, a qualidade das águas reflete as condições de uso e ocupação da terra em seu entorno sendo possível avaliar estágios de ocupação humana, conservação ambiental infraestrutura pública, atividades econômicas etc.

A fim de tentar se estabelecer um certo equilíbrio entre atividades humanas e preservação ambiental se criou unidades de conservação que são especificadas na Lei 9985/2000 (BRASIL, 2000) que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Essas áreas são denominadas Unidades de Conservação (UCs) e se dividem entre UCs de proteção integral e uso sustentável.

A UC Área de Proteção Ambiental (APA) é uma unidade de proteção sustentável, de uma área extensa que admite um grau de ocupação humana desde que discipline a ocupação humana e cumpra os atributos de conservação bióticos, abióticos, culturais e estéticos (BRASIL, 2000). Esse tipo de unidade de conservação (UC) abrange terras

públicas e privadas e pode estabelecer normas para a utilização de uma propriedade privada.

Observações pertinentes para esse tipo de UC é a ausência perante de uma zona de amortecimento ou a implantação de corredores ecológicos segundo a legislação (BRASIL, 2000). Devido à sua grande extensão há dificuldades de executar o plano de manejo para toda a área, uma vez que a APA pode abranger múltiplos municípios. Bernardi *et al.*, (2000) por exemplo, identificaram um descompasso entre o plano de manejo da APA Itupararanga e os planos diretores dos municípios abrangidos. O resultado desse descompasso são conflitos pelo uso da terra.

Uma bacia hidrográfica é um território delimitado por divisores de água cujos cursos d'água convergem para uma foz (ANA, 2023) e serve como unidade básica para gestão dos recursos hídricos e gestão ambiental (SEMA, 2023). As bacias hidrográficas funcionam como sistemas abertos de resposta ao processo de transporte de água e sedimentos (TOY & CHUSE, 2005). Suas características físicas como área, relevo, forma, padrão de drenagem podem determinar vulnerabilidade para inundações ou eutrofização dos rios (SALIS *et al.*, 2019).

A análise morfométrica é uma metodologia que descreve processos ambientais da bacia hidrográfica e também permite diagnosticar mudanças com ou sem interferência das atividades humanas (PISSARRA *et al.*, 2010).

Campanharo (2010) comenta que morfometria é a análise matemática das configurações da bacia hidrográficas a partir das redes de drenagem, relevo e características geométricas. Essa análise morfométrica é composta por um conjunto de atributos morfométricos que inclui: caracterização geométrica: área, perímetro, coeficiente de compacidade (K_c), índice de circularidade, fator forma, padrão de drenagem, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção entre outros (SANTOS *et al.*, 2012), (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019), (TRAJANO *et al.*, (2012), (PISSARRA *et al.*, 2010).

Nos trabalhos de análise morfométrica se utilizam técnicas de geoprocessamento a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE auxilia na obtenção de informações para análise de relevo e geração de mapas de declividade, hipsometria e de risco. Essas informações são úteis na análise morfométrica para conhecimento de problemas ambientais da bacia e soluções para sua mitigação.

Neste trabalho será estudado os recursos hídricos da APA Itupararanga localizada no centro-sul do estado de São Paulo. Esta UC se constitui como uso sustentável abrangendo terras públicas e privadas e permitindo a exploração comercial dos seus recursos. Abrange os municípios de Alumínio, Ibiúna, Cotia, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim.

Esta UC foi criada visando proteger a qualidade ambiental do reservatório Itupararanga (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), que abastece a população dos municípios do alto Sorocaba. Porém essa UC vem apresentando diversos problemas ambientais tais como: loteamentos irregulares, redução da vegetação natural, uso intensivo de irrigação, carência na infraestrutura sanitária entre outros (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), (BERNARDI *et al.*, 2011). Esses problemas ambientais dificultam a conservação dos recursos hídricos e podem gerar problemas como encarecimento do custo e tratamento da água por causa da poluição dos rios e dificuldades na execução de políticas públicas para manutenção dos recursos naturais existentes.

Diante desse contexto, este estudo pretende verificar e dimensionar os problemas das principais sub-bacias da APA Itupararanga com foco nos recursos hídricos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Esta pesquisa tem como finalidade avaliar as condições hidrográficas das sub-bacias que estão inclusas na APA Itupararanga.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar as condições naturais das sub-bacias;
- Verificar as possíveis vulnerabilidades dos recursos hídricos;

3. Revisão da literatura

3.1. Unidades de conservação

A União Internacional da Conservação da Natureza considera áreas protegidas como espaços geográficos definidos, reconhecidos, destinados e geridos por meio legais, com o objetivo de conservar a natureza a longo prazo, também os serviços associados aos ecossistemas e os valores culturais (DUDLEY, 2008, p.8).

AS UCs existem para manter a diversidade biológica no país. Protegem as espécies ameaçadas de extinção, preservam e restauram a diversidade de ecossistemas naturais e promovem a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

No Brasil, as unidades de conservação têm duas classificações: Unidades de Uso Sustentável e Unidades de Proteção Integral (Quadro 1), (BRASIL, 2000).

Quadro 1. Categorias do SNUC

Proteção integral	Uso sustentável
Estação ecológica	Área de Proteção Ambiental
Monumento Natural	Área de relevante interesse ecológico
Parque Nacional	Floresta Nacional
Refúgio da vida silvestre	Reserva extrativista
Reserva biológica	Reserva de fauna
-	Reserva de desenvolvimento sustentável
-	Reserva Particular do Patrimônio Natural

As UCs de proteção integral visam a preservação da natureza com uso indireto dos recursos naturais (BRASIL, 2000). Esta categoria é mais restritiva com a presença humana em suas áreas sendo voltadas a pesquisa, educação e turismo.

As UCs de uso sustentável pretendem harmonizar a conservação ambiental com o uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000). Esta categoria admite a presença humana com possibilidade de exploração comercial.

Essas categorias possuem diferentes características entre si. Entre as UCs de proteção integral, o parque natural permite atividades de recreação e o contato do público com a natureza. O monumento natural visa preservação dos sítios naturais raros enquanto o refúgio da vida silvestre tem objetivo de proteger ambientes que assegurem a existência e reprodução das espécies. A estação ecológica e reserva biológica além da preservação da natureza permitem a realização de pesquisas científicas (BRASIL, 2000).

Entre as UCs de proteção sustentável a área de relevante interesse ecológico tem em geral, a menor extensão territorial com exemplares raros de espécies regionais. A Reserva particular do Patrimônio Natural está localizada em área privada e visa conservar a diversidade das espécies. A Área de Proteção Ambiental ao contrário abrange áreas públicas e privadas e permite diversos tipos de usos em seu território. A reserva de desenvolvimento sustentável e a reserva extrativista são áreas que possuem comunidades tradicionais e se permite a extração sustentável de seus recursos. A floresta nacional também tem como objetivo o uso sustentável dos recursos porém sem comunidades tradicionais (BRASIL, 2000). A reserva de fauna permite o aproveitamento econômico dos recursos em área pública (OECD, 2015).

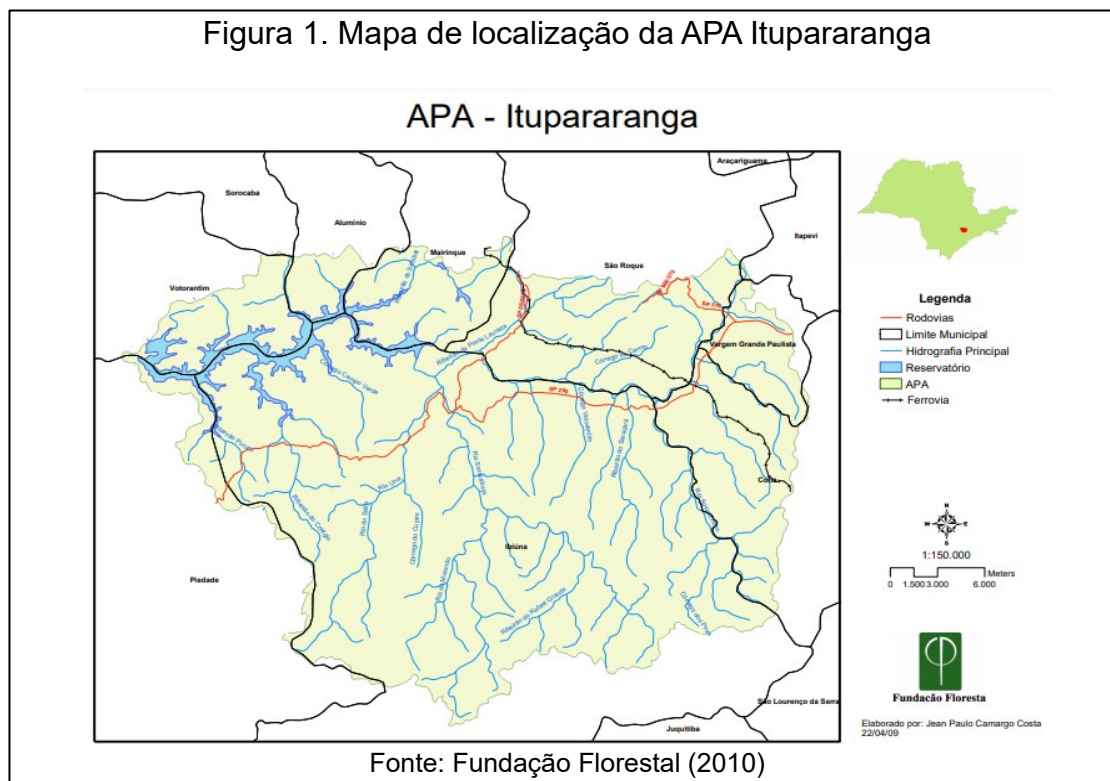
O plano de manejo é o instrumento que preside o uso da terra, manejo dos recursos naturais e a gestão da unidade (BRASIL, 2000). Ele portanto é o documento orientador dos gestores da UC e fornece as diretrizes para o desenvolvimento da unidade (GALANTE, BESERRA E MENEZES, 2002).

3.2. Área de Proteção Ambiental Itupararanga

A APA de Itupararanga (Figura 1) é uma UC que foi criada pela Lei nº 10.100/1998 como compensação ambiental da duplicação da rodovia Raposo Tavares (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010). Este tipo de UC é classificada como de proteção sustentável, abrange terras públicas e privadas, áreas rurais e urbanas, com uso consuntivo da água para irrigação e abastecimento público.

Esta UC é uma grande área que abrange 8 municípios: Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim estando localizados na bacia hidrográfica do Alto Sorocaba. Ela está situada à aproximadamente de 40 km da capital – São Paulo, iniciando-se em Cotia e terminando na barragem em Votorantim a cerca de 120 km da capital (Fundação Florestal, 2010).

Esta UC tem como principal objetivo preservar, conservar e recuperar os recursos naturais, com destaque para os recursos hídricos e remanescentes florestais da bacia hidrográfica formadora da represa de Itupararanga (SÃO PAULO, 1998).



O reservatório de Itupararanga (Figura 2) é a principal fonte de abastecimento de água para um milhão de habitantes na bacia do Rio Sorocaba. Por este motivo a criação desta APA tem como objetivo principal a proteção dos recursos hídricos a fim de manter sua qualidade ambiental (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

Segundo a Fundação Florestal (2010), esta UC possui as maiores porcentagens de cobertura vegetal da bacia do rio Sorocaba. Os municípios com maiores percentuais de vegetação nativa na bacia são: Cotia, que possui todo trecho de Caucaia do Alto preservado e São Roque, Piedade e Ibiúna com muitos remanescentes de capoeira.

A represa está localizada no alto curso do rio Sorocaba, maior afluente do rio Tietê pela margem esquerda, e situa-se na área do Médio Tietê. A bacia hidrográfica do rio Sorocaba é a segunda maior do Médio Tietê, atrás de Piracicaba. A bacia do rio Sorocaba possui uma área de drenagem de 5.296 km² e seu desenvolvimento se faz na direção Sul-

Leste, com comprimento aproximado de 120 km e uma largura média de 50 km (Fundação Florestal, 2010).

Figura 2. Represa Itupararanga



Fonte: Fundação Florestal (2010)

Os rios principais que drenam o reservatório Itupararanga são os Sorocamirim, Sorocabuçu e Una (SEMIL, 2023) e são importantes ambientes para a diversidade biológica da área. Por esta razão é necessário um monitoramento das águas e do uso da terra adjacente às suas margens.

Os principais problemas que comprometem a qualidade ambiental da APA, segundo a Fundação Florestal (2010) são: loteamentos irregulares, uso intensivo da irrigação e ausência de zoneamento territorial que discipline uso e ocupação do solo. Também se inclui o crescimento de loteamentos na UC (Figura 3) e a persistente precária infraestrutura sanitária (Figura 4).

Figura 3. Loteamento de alto padrão próximo a represa



Fonte: Fundação Florestal, 2010

Figura 4. Esgoto a céu aberto



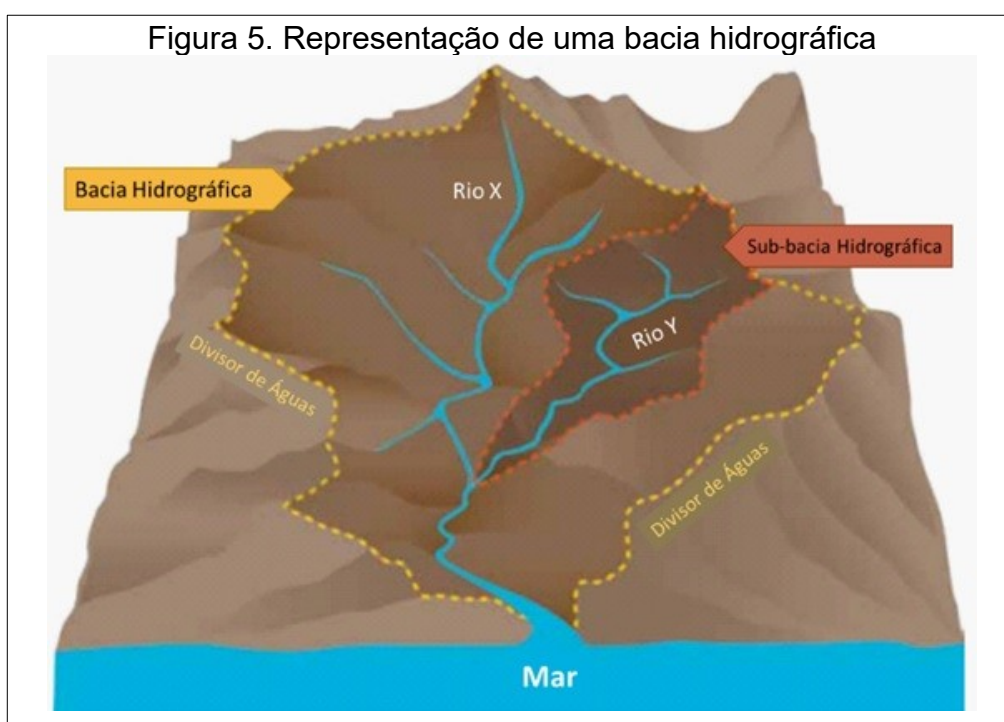
Fonte: Fundação Florestal, 2010

A criação da APA de Itupararanga na bacia hidrográfica do Alto Sorocaba se fez necessária como resposta às pressões que esta região vem sofrendo, pelo avanço de loteamentos residenciais em áreas de grande fragilidade ambiental, uso agrícola intenso com utilização de agrotóxicos e outras atividades que vêm comprometendo a conservação dos recursos naturais.

3.3. Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da precipitação que acumula o escoamento para um ponto de saída. (PORTO & PORTO, 2008 apud Tucci, 1997). Considera-se como um sistema aberto com entrada de água e saída pelo exutório contabilizando perdas intermediárias como evapotranspiração (Figura 5) (ANA, 2012).

As bacias hidrográficas funcionam como sistemas abertos de resposta no processo de transporte de água e sedimentos (TOY & CHUSE, 2005). Suas características físicas como área, relevo, forma, padrão de drenagem podem determinar vulnerabilidade para inundações dos rios (SALIS *et al.*, 2019).



Fonte: Freitas (2015)

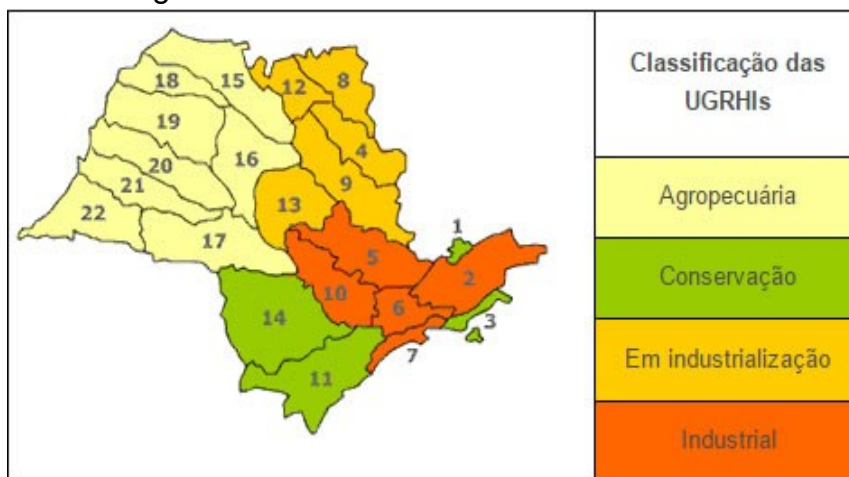
O rio principal inicia em áreas mais altas de altitude e escoar para áreas de menor energia até chegar à foz. Ele recebe recarga de outros rios, chamados tributários que aumentam o fluxo de escoamento do rio principal.

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos segunda a lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997).

3.4. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

O estado de São Paulo tem seu território dividido em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) conforme a figura. As UGRHIs são gerenciadas por Comitês de Bacia Hidrográfica, secretarias de estado e municípios; empresas de Saneamento e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH). Cada unidade tem suas respectivas bacias hidrográficas, que contemplam todos os municípios do Estado. Essa divisão leva em consideração critérios hidrológicos, ambientais, socioeconômicos e administrativos, e foi motivada pela necessidade de viabilizar e otimizar fluxos técnico, político e administrativo (SIGRH, 2023).

Figura 6.UGRHIs do estado de São Paulo



Fonte: Cetesb, 2023

O objetivo das UGRHIs é melhorar a gestão dos recursos hídricos do estado de São Paulo (SIGRH, 2023) oferecendo suporte aos Comitês de Bacia Hidrográfica. A Sabesp utiliza essas unidades para gerenciamento da água e investimentos em obras e serviços para a população conforme o Plano Regional Integrado de Saneamento Básico de 2011 e o Plano Estadual dos Recursos Hídricos de 2016 a 2019. Esses investimentos ocorrem em obras de água, esgoto, drenagem urbana e resíduos sólidos (ENGEORPS, 2011) e pode ocorrer com parceria dos municípios e organizações sociais. Cada município possui um Plano municipal de Saneamento Básico (Governo de São Paulo, 2023) onde são estruturados o diagnóstico do município, sua demanda e os investimentos em obras e serviços de água e esgoto.

A UC APA Itupararanga está localizada inteiramente na bacia do alto Sorocaba (figura 8). Esta localização é importante porque é onde estão localizadas as principais cabeceiras do rio Sorocaba. O rio Sorocaba nasce no município de Ibiúna, e deságua em Laranjal Paulista na margem esquerda do rio Tietê. A Unidade de Gerenciamento do mapa faz parte da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê - UGRHI 10.

Um importante instrumento de gestão hídrica é o enquadramento dos corpos d'água. O enquadramento assegura às águas qualidade compatível com os usos que forem destinadas e também diminuir os custos de combate à poluição das águas (BRASIL, 1997). A resolução Conama 357/2005 define 5 classes de uso para água doce no Brasil.

No estado de São Paulo, porém é comum se adotar o enquadramento definido pelo Decreto estadual N° 8468/76 (ALESP, 2023). O Quadro 2 apresenta sua classificação:

De acordo com o quadro, a classe 1 tem a melhor qualidade da água e o uso mais exigente. Conforme avança para outras classes a qualidade fica mais comprometida e o uso menos exigente sendo que a classe 4 há o uso menos exigente.

Quadro 2. Enquadramento das águas

Classe 1	Águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção.
Classe 2	Águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação e mergulho).
Classe 3	Águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e à dessedentação de animais.
Classe 4	Águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento avançado, ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes.

Fonte: Elaborado pelo autor

A Classe 1 é utilizada para classificar rios em áreas de proteção ambiental do tipo integral como parques estaduais, estações ecológicas ou reservas biológicas. Os rios de Classe 2 em geral, pertencem às áreas rurais com baixa urbanização.

A Classe 3 se refere a rios urbanos que exigem considerável custos de tratamentos de água para distribuição. No caso da classe 4 não se recomenda a recreação de uso primário nas águas dessa categoria.

A UC de Itupararanga possui o enquadramento classe 2 que permite o abastecimento público e a irrigação de hortaliças. Possui certa restrição com áreas urbanas e aglomerações humanas de alta densidade.

3.5. Análise morfométrica

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é definida como a investigação quantitativa das relações entre a fisiografia e a dinâmica hidrológica da bacia (SANTOS *et al.*, 2012 apud Nunes *et al.*, 2006).

Campanharo (2010) comenta que morfometria é a análise matemática das configurações da bacia hidrográficas a partir das redes de drenagem, relevo e características geométricas. Essa análise é dividida em três grupos: características geométricas, características de drenagem e características do relevo.

As características geométricas refletem em termos gerais as características hidrológicas da bacia e estão relacionados com o escoamento da água. Seus principais índices são: Área de drenagem (A); Coeficiente de compactidade (Kc); Fator de forma (Kf); Razão de alongação (Re); Índice de circularidade (Ic) e Índice entre o comprimento (CAMPANHARO, 2010).

As características de drenagem tratam do comportamento hidrológico e litológico da bacia (CAMPANHARO, 2010). Os principais índices são: Ordem dos cursos d'água, comprimento do curso d'água principal, densidade de drenagem, Comprimento total dos cursos d'água (OLSZEWSKI *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2012).

As características do relevo descrevem os diferentes compartimentos da paisagem (CAMPANHARO, 2010). Os principais índices utilizados na literatura são: altitude e declividade da bacia, índice de alongamento, índice de rugosidade, declividade média, altitude máxima, altitude mínima e índice de sinuosidade (CAMPANHARO, 2010; OLSZEWSKI *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2012).

Segundo TRAJANO *et al.*, (2012) há pelo menos 50 índices morfométricos existentes na literatura. O pesquisador em geral, escolhe os índices mais representativos do seu objeto de estudo.

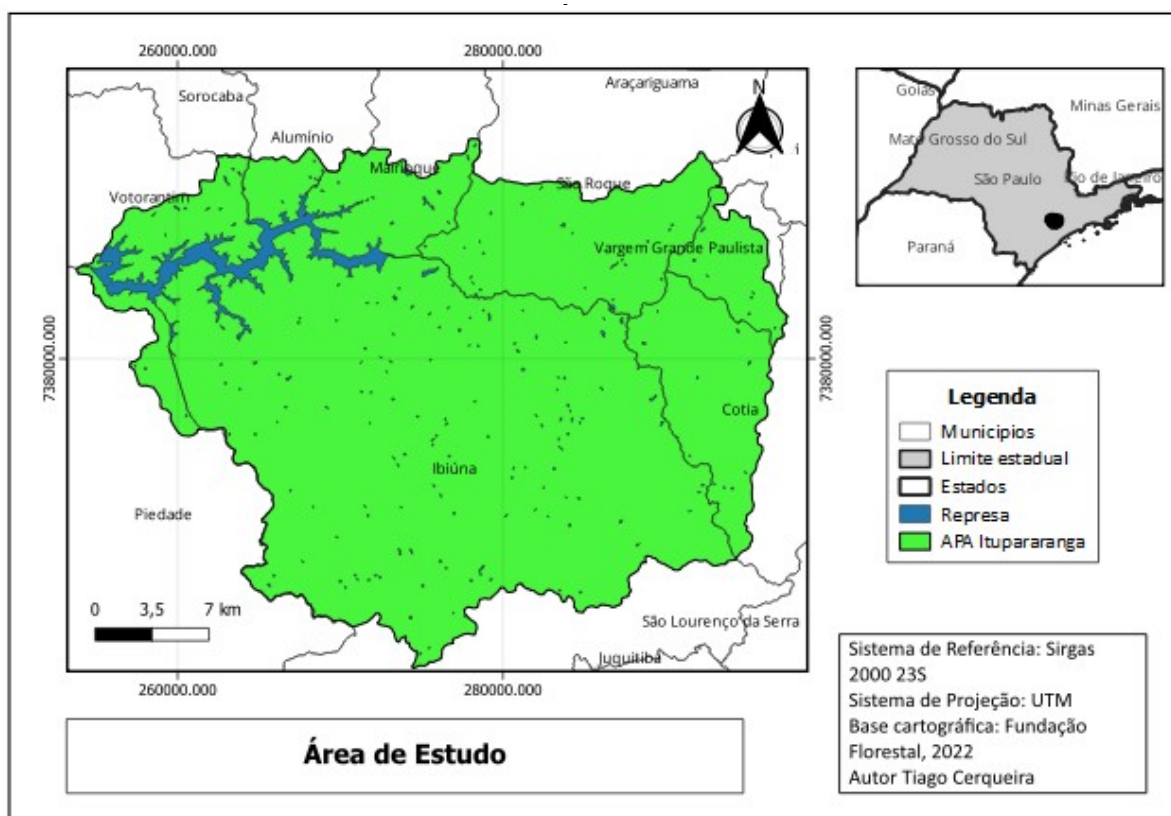
4. Metodologia

Este trabalho conduziu uma análise comparativa integrada dos recursos hídricos situados na APA Itupararanga. Os aspectos metodológicos são conduzidos nas seguintes etapas de pesquisa:

4.1. Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga é uma unidade de conservação (UC) localizada na bacia alto Sorocaba UGRHI 10 e a leste da Região Metropolitana de Sorocaba (RMS) (Figura 7).

A UC possui duas estações bem definidas com verão quente e chuvoso com precipitação média de 248,1 mm e uma estação mais seca, com uma precipitação média de 42,8 mm (SALLES *et al.*, 2008).



Fonte: Autor (2023)

A área de abrangência da APA Itupararanga se localiza no Planalto Atlântico na serra de São Francisco, com transição para a Depressão Periférica e apresenta as seguintes classes geomorfológicas: Mares de Morros, Morros com Serras Restritas, Morros Paralelos, Planícies Aluviais, Morros de Topos Achatados, Mesas Basálticas e Escarpas Festonadas. A UC ainda apresenta três principais tipos de classes de solos: Argissolo, Cambissolo e Latossolo (Fundação Florestal, 2010).

4.2. Obtenção dos dados

A imagem raster do Modelo Digital de Elevação foi obtido pelo projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) pela quadrícula 23S_48.

Os dados de uso da terra foram obtidos pelo portal MapBiomas que oferece os dados de forma online. Nesse site foi adquirido o raster de uso da terra do ano de 2021. No portal Datageo (Sistema Ambiental Paulista) foram obtidos os dados dos municípios do estado de São Paulo e das Unidades de conservação do estado de São Paulo em formato *shapefile*¹. Os arquivos referentes à hidrografia foram obtidos no site da ANA (Agência Nacional de Águas) e Cetesb (Companhia de Saneamento Ambiental de São Paulo). As informações de transportes foram obtidas no Ministério dos Transportes.

Todos os mapas foram tratados e elaborados pelo software Quantum Gis Desktop 3.28.7 (Qgis) ano 2023.

4.3. Processamento dos dados

A etapa de processamento de dados foi realizada no ambiente do Quantum Gis Desktop 3.28.7 ano 2023 com integração do GRASS GIS 8.2.1 ano 2023, de acordo com os passos:

- UCs: seleção e exportação via *shapefile* a seleção da feição correspondente à APA Itupararanga dentre as unidades de conservação;
- MDE: seleção e recorte. Execução do complemento *r. fill. dir* para eliminação de depressões, seguida de execução de complemento *r.watershed*. to com seleção e colorização das sub-bacias e respectivas hidrografias;

¹ Shapefile é um formato de arquivo de dados vetoriais que pode ser ponto, linha ou polígono.

- Municípios: exportação como *shapefile* a seleção das feições correspondentes aos limites localizados dentro da APA;
- Zoneamento: desenho da divisão das zonas de avaliação;
- Uso da terra: recorte por camada de máscara da área de interesse;

O GRASS GIS é um aplicativo de cálculo automatizado de dados, através de complementos que permite processar e analisar os dados geográficos. O resultado desses dados são processados para informações ambientais.

Nesta etapa foi realizada a delimitação das sub-bacias hidrográficas dos rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Una com definição dos rios principais e canais de drenagem. Os resultados das sub-bacias, gerados em *raster*² foram convertidos para vetor para permitir a alteração do aspecto “serrilhado” para uma forma mais “suavizada” das sub-bacias.

4.4. Parâmetros Morfométricos

Após a delimitação das sub-bacias, seguiu-se o cálculo dos parâmetros morfométricos de cada sub-bacia. Os parâmetros morfométricos adotados foram:

Área da bacia (A): Área da bacia hidrográfica correspondente a área drenada pela rede fluvial.

Perímetro de bacia (P): comprimento linear do divisor de águas.

Comprimento axial (C): Medição do ponto de exutório até o ponto mais longe da bacia.

Coefficiente de Compacidade (K_c): é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia (SANTOS *et al.*, 2012). É expresso pela fórmula 1:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

P= Perímetro da bacia (km)

A= Área da bacia (km²)

² *Raster* é um formato de arquivo de dados formado por pixels.

Um valor de Kc igual a 1 significa uma bacia perfeitamente circular. Um valor de Kc maior que 1 indica uma bacia mais alongada.

Fator de forma (Ff): relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia e indica também maior ou menor tendência para cheias na bacia (SANTOS *et al.*,2012). É descrito pela seguinte equação:

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Onde:

A= Área de drenagem da bacia;

L= Comprimento axial da bacia

O índice de circularidade (Ic) relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia (SANTOS *et al.*,2012). O cálculo do índice de circularidade é realizado através da fórmula 2:

$$Ic = \frac{A}{Ac}$$

Onde:

A= Área da bacia

Ac = Área de um círculo com perímetro semelhante ao da bacia

Segundo Alves & Castro (2003) o índice de circularidade pode ser classificado da seguinte forma conforme o Quadro 3:

Quadro 3. Classes do Índice de circularidade

Aspecto	Índice de circularidade
Bacia mais alongada favorecendo o escoamento	< 0,51
Escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas	= 0,51

Bacia circular favorecendo os processos de inundação	> 0,51
--	--------

Fonte: Adaptado de Alves & Castro (2003)

Padrão de drenagem (Pd): formato da drenagem através do traçado do relevo de uma bacia hidrográfica. Segundo Christofolletti (1974) os padrões e drenagem são (Quadro 4):

Quadro 4. Padrões de drenagem

Padrão	Característica
Anular	Rios principais com um padrão circular com canais tributários em ângulo reto
Dendrítico	Padrão no formato de uma árvore
Paralelo	Os rios principais são espaçados e paralelos. A confluência com os rios tributários é caracterizada por ângulos agudos
Radial	Padrão caracterizado por rios que se dispõe radialmente a uma estrutura mais elevada.
Retangular	Rede de drenagem caracterizado por curvas abruptas em ângulo reto.
Treliça	Padrão caracterizado por canais longos e tributários curtos que desaguam em ângulos retos.

Fonte: Chistofolletti (1974)

Razão de alongação (Re): é a relação entre o diâmetro de área igual a área da bacia e o comprimento do seu eixo. Esta razão tende para uma unidade quando ocorre a aproximação da bacia para uma forma circular (MOSCA, 2003) sendo calculada pela equação abaixo:

$$Re = \frac{1,128 \times A^{0,5}}{L_{axial}}$$

Onde: A = área de drenagem da bacia

Laxial = comprimento axial (km)

Densidade de drenagem (Dd): indica o desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica. Este índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos de água e a área da bacia (VILLELA & MATOS, 1975, p.16). Esse índice é definido pela fórmula:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde: Lt = Comprimento total dos canais (km)

A = Área total da drenagem (km²)

Beltrame (1994), classificou a densidade de drenagem de acordo com o Quadro 5:

Quadro 5. Classificação da drenagem

Característica	Dd (km/km²)
Baixa	< 0,5
Média	0,5 - 2,0
Alta	2,01 – 3,50
Muito alta	> 3,5

Fonte: Beltrame (1994)

Densidade hidrográfica (Dh): é a soma do número total de canais dividido por quilômetro quadrado da bacia (SCHUM, 1956 apud Horton, 1945, p. 283). É dada pela fórmula:

$$Dh = n/A$$

Onde:

Dh = Densidade hidrográfica (canais/km²)

n= número de canais

A = Área da bacia

A densidade hidrográfica pode ser classificada de acordo com o Quadro 6, conforme Lollo (1995).

Quadro 6. Classificação da densidade hidrográfica

Densidade hidrográfica	Classificação
< 3	Baixa
3 - 7	Média
7 - 15	Alta
> 15	Muito alta

Fonte: Lollo (1995).

O coeficiente de manutenção é a área mínima que uma bacia necessita para manter 1 metro de canal fluvial (SCHUM, 1956). A fórmula é dada por:

$$C_m = \frac{1}{D_d} \times 1000$$

Onde:

C_m = coeficiente de manutenção

D_d = densidade de drenagem

Razão de relevo (R_r): É a razão entre o relevo total de uma bacia, diferença de entre os pontos mais baixos e mais altos de uma bacia, e a maior dimensão da bacia paralela ao canal principal (SCHUM, 1956). É definida pela fórmula:

$$R_r = \frac{H}{L_c}$$

Onde:

R_r = Razão de relevo (km)

H = Amplitude altimétrica (m)

Lc = Comprimento do canal principal (m)

Índice de rugosidade (Ir): corresponde à relação entre altitude média e densidade de drenagem (FRAGA *et al.*, 2014) como definido pela fórmula:

$$Ir = Hm \times Dd$$

Onde:

Ir: índice de rugosidade;

Hm: altitude média (m)

Dd: densidade de drenagem (km/km²).

Extensão média do escoamento superficial (I) é definida como a distância em que a água da chuva escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento ocorresse em linha reta, da área onde caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água da bacia (VILLELA & MATOS, 1975). A fórmula é dada por:

$$I = A/4Lt$$

Onde:

A= Área

Lt = Comprimento total dos canais

Índice de sinuosidade (Is): é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal. Este índice expressa a velocidade de escoamento do canal principal (SANTOS *et al.*, 2012). A fórmula é expressa por:

$$Is = \frac{Lc}{Lv}$$

Onde:

Lc = comprimento do canal principal em km;

Lv = comprimento vetorial do canal principal em km.

O índice de sinuosidade pode ser classificado (JÚNIOR, 2019 apud LOPES *et al.*, 2018) de acordo com o Quadro 7.

Quadro 7. Classificação do índice de sinuosidade

Característica	Índice
Retilíneo	< 1,05
Sinuoso	1,05 - 1,5
Meandrante	> 1,5
Entrelaçado	> 1,8
Anastomosado	> 2,0

Fonte: (JÚNIOR, 2019 apud LOPES *et al.*, 2018)

Razão de textura (T): Razão entre número de segmentos de rios (Nt) e perímetro da bacia (P) (ZANATA *et al.*, 2011 apud FRANÇA (1968).

$$T = \frac{Nt}{P}$$

Onde:

Nt = Número total de canais de drenagem

P= Perímetro da bacia

Também foram calculados a altitude média, máxima e mínima a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). Todos os resultados foram exportados para uma planilha do Libre Office.

5. Resultados e discussão

5.1. Resultados morfométricos

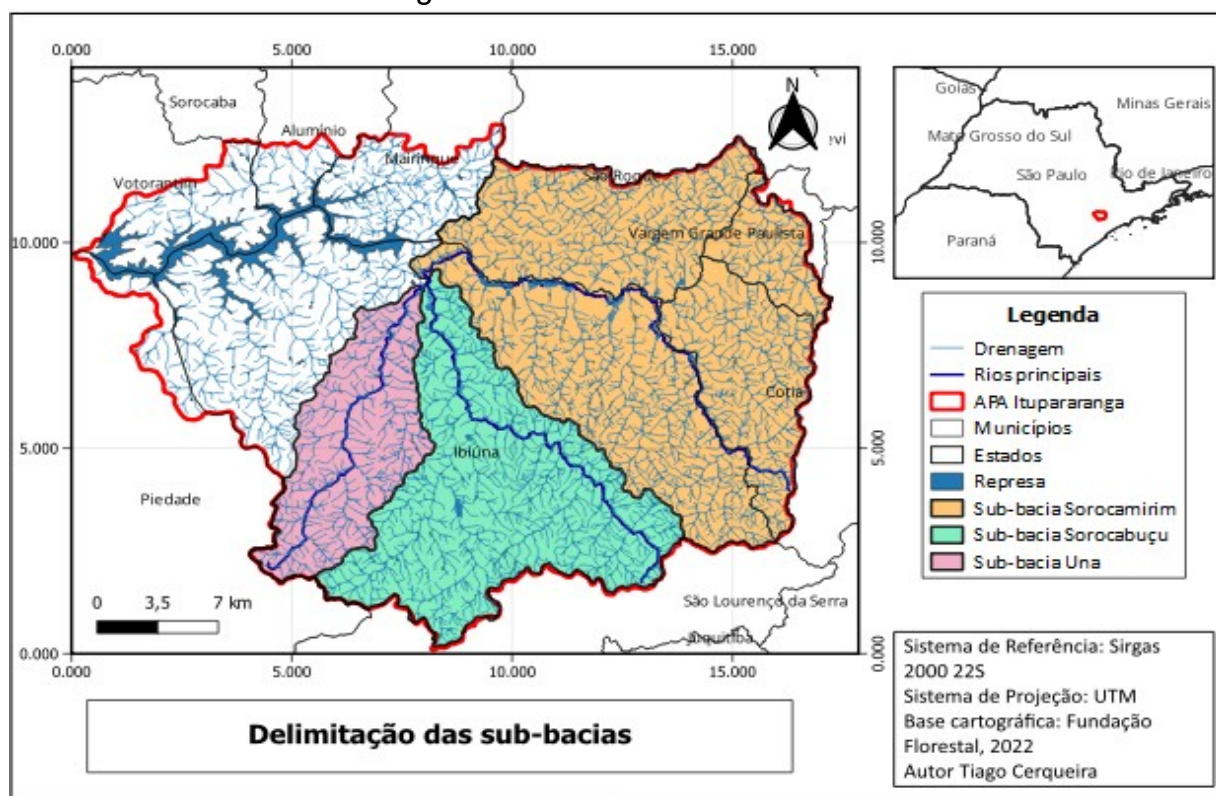
Os resultados morfométricos são apresentados na Quadro 8 para as três sub-bacias hidrográficas: Una, Sorocabuçu e Sorocamirim.

Quadro 8. Resultados morfométricos

	Parâmetros	Una	Sorocabuçu	Sorocamirim
Características geométricas	Área (Km ²)	98,14	203,39	370,01
	Perímetro (km)	57,41	94,99	114,33
	Altitude mínima	841,71	841,05	833,99
	Altitude média	943,93	931,89	920,08
	Altitude máxima	1186,62	1213,28	1136,08
	Amplitude altimétrica	344,91	372,22	302,09
	Fator de forma (Ff)	0,26	0,32	0,47
	Coeficiente de compacidade (Kc)	1,62	1,86	1,66
	Índice de circularidade (Ic)	0,37	0,28	0,36
	Razão de alongação (Re)	0,57	0,64	0,77
	Padrão de drenagem (Pd)	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico
Características de drenagem	Eixo do rio principal (Km)	19,54	24,87	28,15
	Comprimento do rio principal (Km)	25,74	30,72	37,25
	Comprimento total dos canais de drenagem (Km)	176,96	370,54	657,11
	Número total de canais	396	908	1590
	Densidade de drenagem (Km/km ²)	1,8	1,82	1,78
	Densidade hidrográfica (Dh)	4,04	4,46	4,3
	Índice de sinuosidade (Is)	1,32	1,23	1,32
	Coeficiente de manutenção - Cm (m)	555,5	549,45	561,79
Características de relevo	Razão de relevo (Rr)	0,01	0,01	0,00
	Índice de rugosidade (Ir)	1,69	1,69	1,63
	Extensão Média do Escoamento Superficial (m)	13,8	13,7	14,0

Conforme o Quadro 8, as características geométricas mostram que as áreas das sub-bacias Una, Sorocamirim e Sorocabuçu (figura 8) possuem área total somada de 671,54 km² e perímetro de 266,73 km. Considerando que a área da APA possui 936,51 km² (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), essas sub-bacias representam 71,71% da APA. Essas sub-bacias fazem parte da bacia hidrográfica do alto Sorocaba cujos rios deste estudo formam o rio Sorocaba. A figura 8 mostra o mapa com as sub-bacias delimitadas. As sub-bacias Una e Sorocabuçu estão abrangidas pelo município de Ibiúna. A sub-bacia Sorocamirim por sua vez abrangem quatro municípios: Cotia, Vargem Grande Paulista, São Roque e Ibiúna.

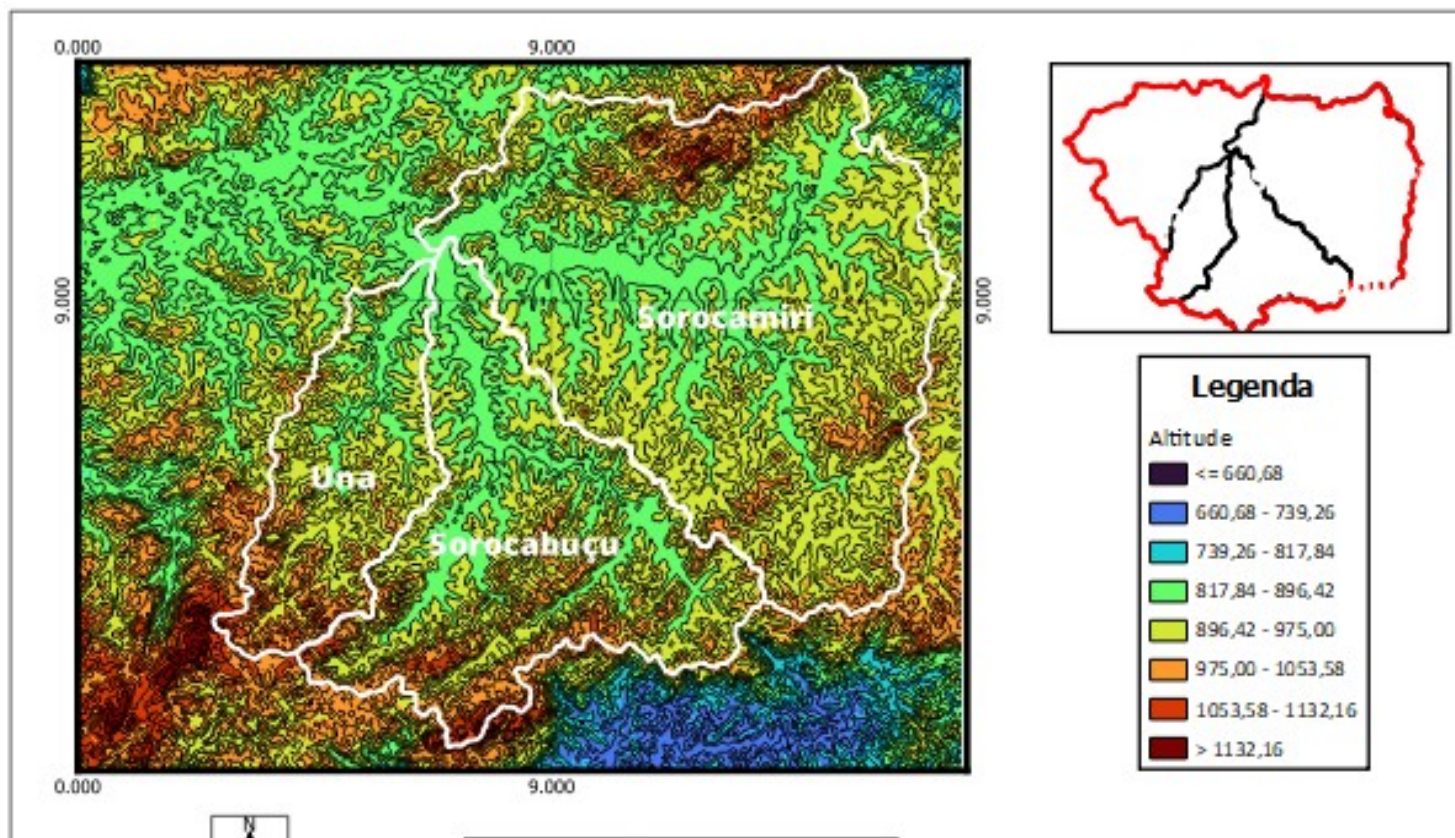
Figura 8. Sub-bacias delimitadas



Fonte: Autor (2023)

As altitudes variam de 841,05 m a 1213,28 m tendo a sub-bacia Una a mínima de 841,71 m e sub-bacia Sorocabuçu a máxima de 1213,28 m (Figura 9). As maiores altitudes se localizam nos limites extremos das sub-bacias referentes às maiores cotas das serras. Essas altitudes são referentes à Serra do Taxaquara, a Serra de Caucaia e Planalto de Ibiúna/São Roque (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010). A abrangência numa

mesma região geomorfológica pode explicar a proximidade de resultados. O fluxo de energia dos rios diminui com as menores altitudes até confluírem na planície fluvial onde se encontram os rios Sorocabuçu e Sorocamirim. Nesse encontro inicia o reservatório de Itupararanga.



Fonte: Autor (2023)

A sub-bacia do rio Una é a menor das sub-bacias em estudo com área de 98,14 km² e perímetro de 57,41 km. A altitude mínima é de 841,71 m e máxima de 1186,62 m (média 943,93 m) com amplitude altimétrica de 344,91 m. O rio principal da sub-bacia é o rio Una (Figura 10) e possui 25,74 km de extensão com eixo de 19,54 km. O índice de sinuosidade (Is) obtido foi 1,32, classificando esse rio como sinuoso. O número de canais de drenagem da sub-bacia obtidos foi de 396, num total de 176,96 km de comprimento total. A densidade de drenagem (Dd) obtida foi 1,8 Km/km², valor considerado médio segundo Santos *et al.*, (2012). A densidade hidrográfica obtida foi de 4,04 canais/km², valor considerado médio por Lollo (1995). O coeficiente de manutenção obtido foi de 555,5 m.

A sub-bacia Sorocabuçu mostra que possui área de 203,39 km², com perímetro de 94,99 km. Os valores de altitude mínima são de 841,05 m e máxima de 1213,28 m (média 931,89 m) com amplitude altimétrica de 372,22 m. O rio principal é o rio Sorocabuçu (Figura 11) com 30,72 km de extensão com eixo de extensão de 24,87 km. O índice de sinuosidade (Is) obtido foi 1,23, classificando esse rio como sinuoso. O número de canais de drenagem da sub-bacia obtidos foram de 908, num total de 370,54 km de comprimento total. A densidade de drenagem (Dd) obtida foi 1,82 Km/km², valor considerado médio segundo Santos *et al.*, (2012). A densidade hidrográfica obtida foi de 4,46 canais/km², valor considerado médio por Lollo (1995). O coeficiente de manutenção obtido foi de 549,45 m.

A sub-bacia do rio Sorocamirim possui a maior área com 370,01 km² e perímetro de 114,33 km. Os valores de altitude mínima são de 833,99 m e máxima de 1136,08 m (média de 920,08 m) com amplitude altimétrica de 302,09 m. O principal rio, Sorocamirim, possui extensão de 37,25 km com eixo de 28,15 km e índice de sinuosidade (Is) de 1,32, sendo classificado como sinuoso. Es unidade possui o maior número de canais (1590) com comprimento total de 657,11 Km. A densidade de drenagem é de 1,78 Km/km² sendo considerado um valor médio. A densidade hidrográfica obtida foi de 4,3 canais/ km², valor classificado como médio segundo a classificação de Lollo (1995). O coeficiente de manutenção obtido foi de 561,79 m.

As características geométricas mostram que os Coeficientes de compacidade (kc) sub-bacia Una = 1,62; sub-bacia Sorocabuçu = 1,86 e sub-bacia Sorocamirim = 1,66 são valores altos maiores que 1 (kc >1) e indicam bacias alongadas. O Fator de

forma (F_f) com resultados respectivos de 0,26; 0,32 e 0,4 para as sub-bacias Una, Sorocabuçu e Sorocamirim são valores menores que 1 ($F_f < 1$) que indicam que as sub-bacias possuem forma alongadas. O índice de circularidade (IC) de 0,37; 0,28 e 0,36 para as sub-bacias Una, Sorocabuçu e Sorocamirim respectivamente, com $F_f < 1$ e razão de alongação das sub-bacias Una = 0,57; Sorocabuçu = 0,64 e Sorocamirim = 0,77 inferiores a 1 ($Re < 1$) se distanciam do padrão de circularidade, reforçando os resultados do coeficiente de compacidade. Esses resultados significam que as sub-bacias são alongadas e possuem baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes.

As características de drenagem mostram que o índice de sinuosidade (I_s) todos os rios principais são considerados sinuosos, com valor 1,35 para o rio Una e 1,32 para o rio Sorocamirim com menor valor para o rio Sorocabuçu, 1,23. Todas as sub-bacias hidrográficas possuem padrão de drenagem dendrítica. A densidade de drenagem (D_d) das sub-bacias são consideradas médias, com valor de 1,80 para sub-bacia do Una e 1,82 para a sub-bacia do rio Sorocabuçu, enquanto o menor valor foi para a sub-bacia do rio Sorocamirim com 1,78. A densidade hidrográfica (D_f) das sub-bacias também são consideradas médias com valores de 4,04; 4,46; 4,3 respectivamente para Una, Sorocabuçu e Sorocamirim.

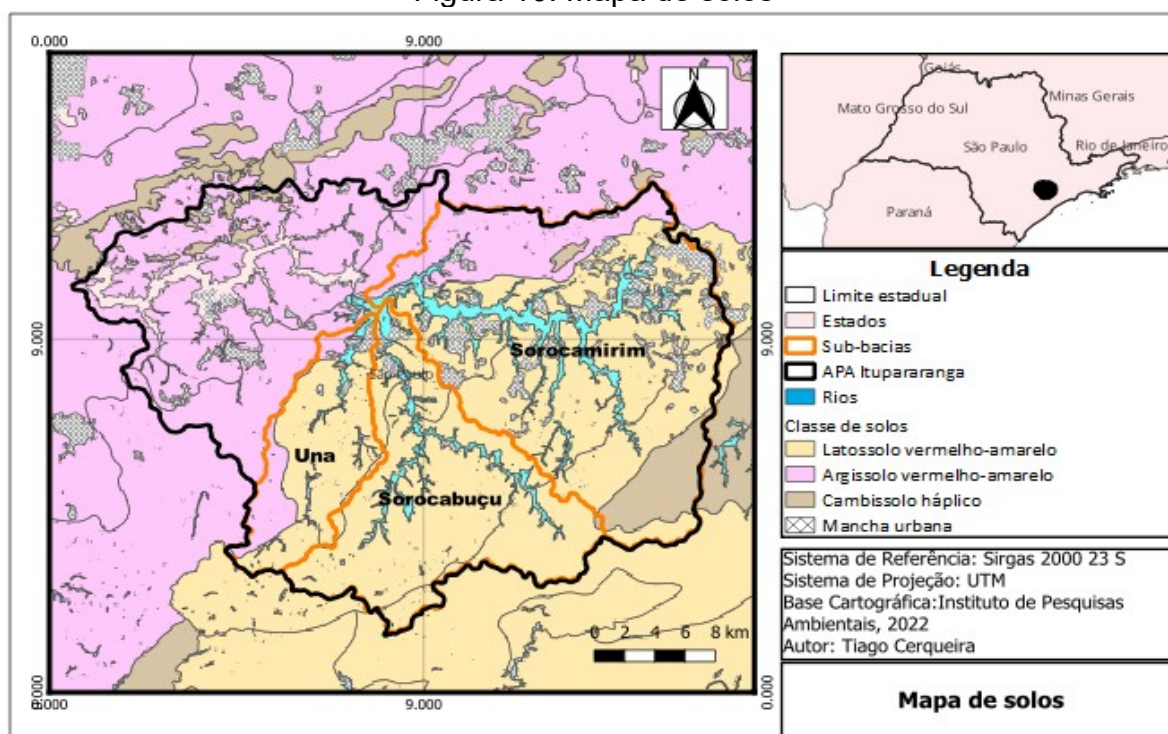
As características de relevo mostram que os valores da extensão média do escoamento superficial das sub-bacias apresentaram resultados próximos entre si, com média de 13,8 m, desvio-padrão de 0,15 e coeficiente de variação 1,08%. Esse resultado é importante para indicar valores de extensão mínima do escoamento percorrido. Segundo Villela & Matos (1975) após a precipitação, a água escoada percorre uma menor extensão até encontrar um canal. Segundo Olszewski *et al.*, (2011) esses valores são considerados pequenos e possuem potencial de provocar alagamentos em dias de chuvas intensas em razão da menor possibilidade de infiltração da água. Porém, como mostrado no índice de circularidade (IC), coeficientes de compacidade (KC) e fator de forma (FF) as sub-bacias não possuem potencial de inundações.

Os valores da extensão média do escoamento superficial podem ser diferentes de um estudo de detalhe por causa do uso do solo ou a classe do solo, porém esse índice indica a distância média do escoamento superficial (VILLELA & MATOS, 1975).

O coeficiente de manutenção mostrou uma média 555,58 m, desvio-padrão 5,03 e coeficiente de variação 2,47%. Segundo Schumm (1956), o coeficiente de manutenção fornece a área mínima para manutenção de 1 m de canal. Os valores obtidos podem ser considerados baixos, de menor área para Cm segundo Trajano *et al.*, (2012). Todavia esses valores podem ser limitados para o tipo de solo. Solos arenosos tendem a ter maior permeabilidade da água, menor escoamento e menor fluxo hídrico. A figura 8 mostra que a classe latossolos vermelho-amarelo predomina sobre as sub-bacias. São solos profundos que ocorrem principalmente em áreas bem drenadas, ideais para a agricultura (EMBRAPA, 2021) o que pode explicar a pequena área para o coeficiente de manutenção e os baixos valores da extensão média do escoamento superficial.

DE OLIVEIRA *et al.*,(2019) encontraram um valor de 557,35 m² porém numa área de bacia de 1002,70 km² com baixa densidade de drenagem e relevo mais plano o que indica uma maior área para manutenção dos canais. Trajano *et al.*, (2012), obteve valores de Cm de 0,01 km² numa bacia de 904 km² porém com densidade de drenagem baixa (0,55 km). A densidade de drenagem possui fator muito importante para os resultados do coeficiente de manutenção.

Figura 10. Mapa de solos



Fonte: Autor (2023)

O índice de rugosidade (I_r) das sub-bacias teve média de 1,67; DP 0,02 e CV 1,19%. Esse valor é considerado baixo por Olszewski *et al.*, (2011), o que desfavorece os processos erosivos e de degradação da bacia em vertentes íngremes.

A sub-bacia do rio Sorocamirim (370,01 km²) é maior entre as três seguidas da sub-bacia do rio Sorocabuçu (203,39 km²) e Una (98,14 km²). O rio Sorocamirim é o mais extenso das sub-bacias (37,25 km), seguido do rio Sorocabuçu (30,72 km) e Una (25,74 km). O rio Una nasce no município de Ibiúna e deságua à margem esquerda do rio Sorocabuçu em trecho urbano do município de Ibiúna. O rio Sorocabuçu nasce também em Ibiúna e deságua na margem esquerda do trecho urbano do rio Sorocamirim numa área de planície fluvial no município de Ibiúna. O rio Sorocamirim diferentemente, nasce no distrito de Caucaia do Alto (Município de Cotia) passa por trechos de atividades agrícolas e áreas urbanas e deságua na planície fluvial em Ibiúna. O encontro dos rios Sorocabuçu e Sorocamirim formam o rio Sorocaba e o início da represa Itupararanga também no município de Ibiúna.

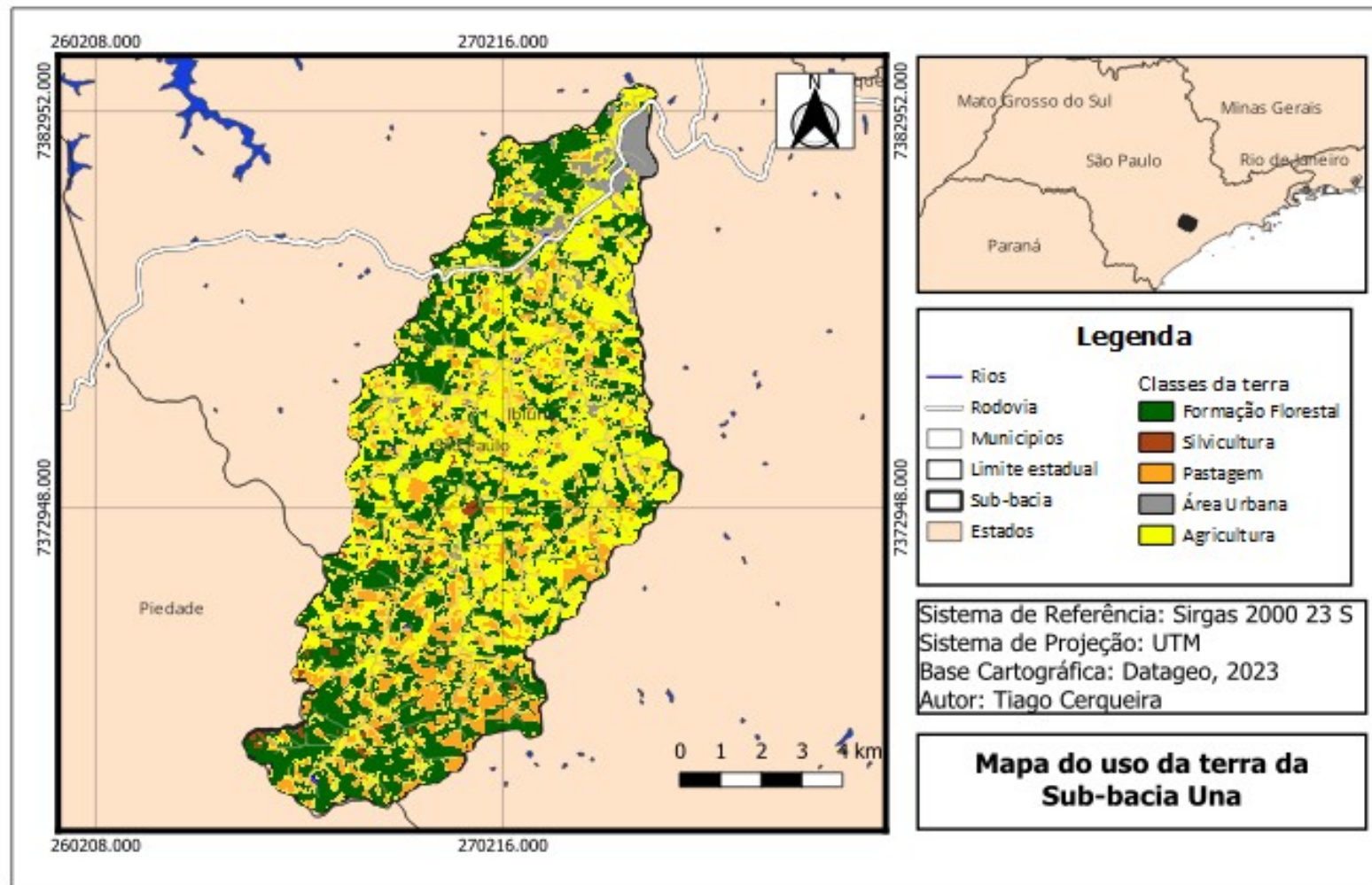
Apesar das sub-bacias contarem com uma drenagem média, pequenas áreas de coeficiente de manutenção (13,8 m; Dp 0,15 e CV 1,08%) e baixa extensão média do escoamento superficial (555,58 m; Dp 5,03 e CV 2,47%) os recursos hídricos podem ser seu potencial sub-utilizado devido aos baixos valores de coleta e tratamento de esgoto. Estes dados foram identificados no diagnóstico de ações do Plano Integrado Regional e Municipal de Saneamento Básico para UGRHI 10, como áreas potencialmente problemáticas para gestão da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos, com deficiência, na coleta e tratamento dos esgotos sanitários (ENGEORPS, 2011).

5.2. Uso da terra

O uso da terra pode explicar os resultados obtidos pela análise morfométrica e entender a forma como são utilizadas a terra nas sub-bacias. Procurou-se apresentar uma classificação mais sucinta contendo áreas de vegetação florestal, pastagem, agricultura, silvicultura e áreas urbanas oriundas da coleção 8 do Mapbiomas. Não foram detalhados os tipos de cultivos agrícolas ou as classes de vegetação.

O mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Una (Figura 11) apresenta uma grande quantidade de área destinada ao uso agropecuário. As áreas de florestas são presentes de forma contínua em áreas de nascentes e planícies fluviais. As áreas de plantio ocupam grandes trechos perto dos rios, em gerais fluxos de menor energia. O Quadro 9 mostra que a atividade agrícola possui 29,92 km², áreas de pastagem de 10,75 km², formação florestal de 34,86 km² e área urbana correspondente a 3,13 km² da sub-bacia estando presente em trechos de estradas.

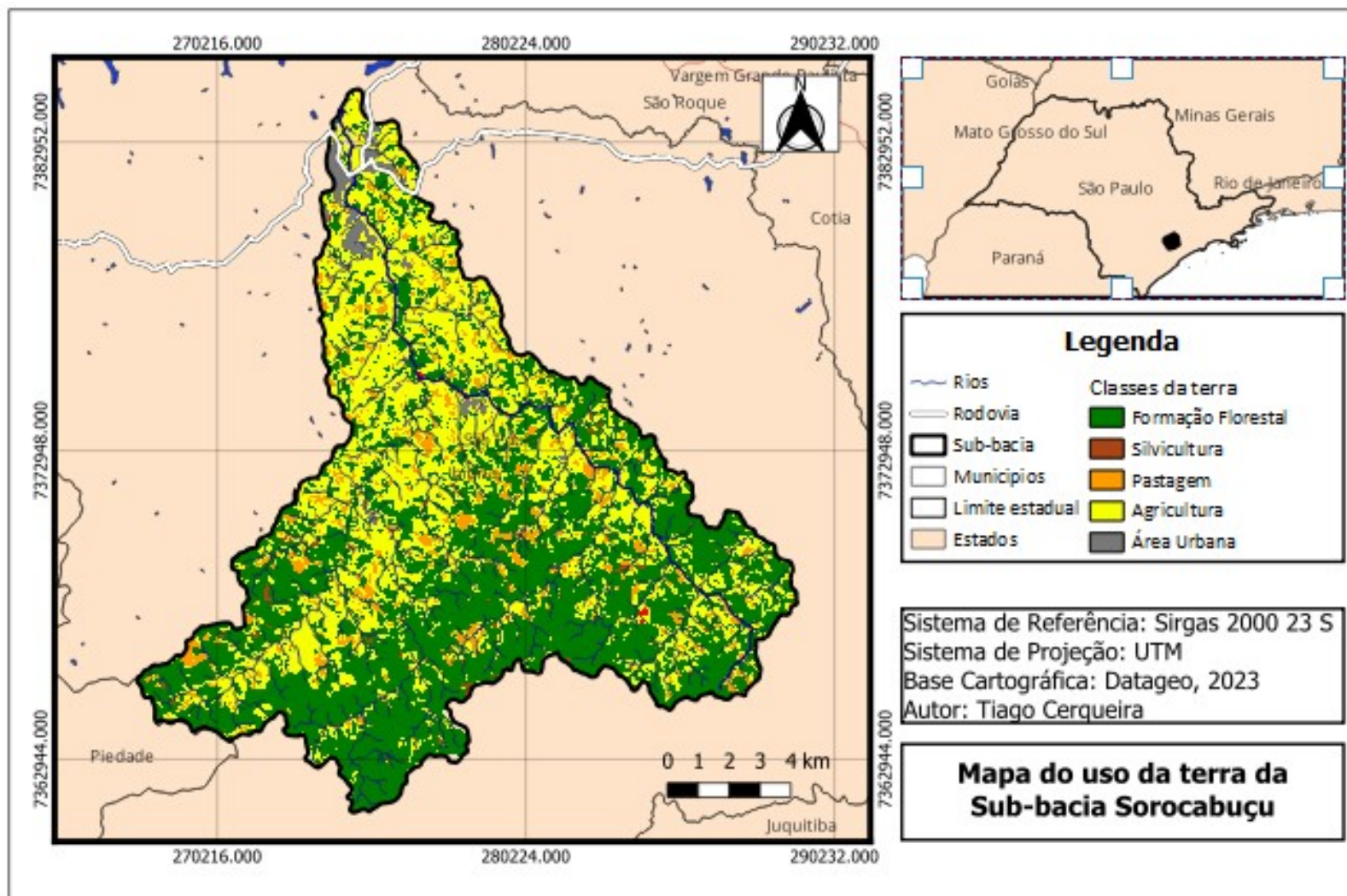
Figura 11. Mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Una



Fonte: Autor (2023)

O mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Sorocabuçu (Figura 12) apresenta uma grande área de formação florestal contínua em áreas de nascentes e um progressivo aumento da atividade agropecuária na parte mais baixa dos rios. A sub-bacia Sorocabuçu também está localizada integralmente no município de Ibiúna. De acordo com o Quadro 9, a área correspondente a classe agropecuária corresponde à 50,69 km², a formação florestal corresponde a 105,00 km², a área de pastagem possui 13,38 km², enquanto a área urbana corresponde 4,28 km² da sub-bacia se localizando principalmente em trechos de estradas e áreas de menor altitude da sub-bacia.

Figura 12. Mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Sorocabuçu

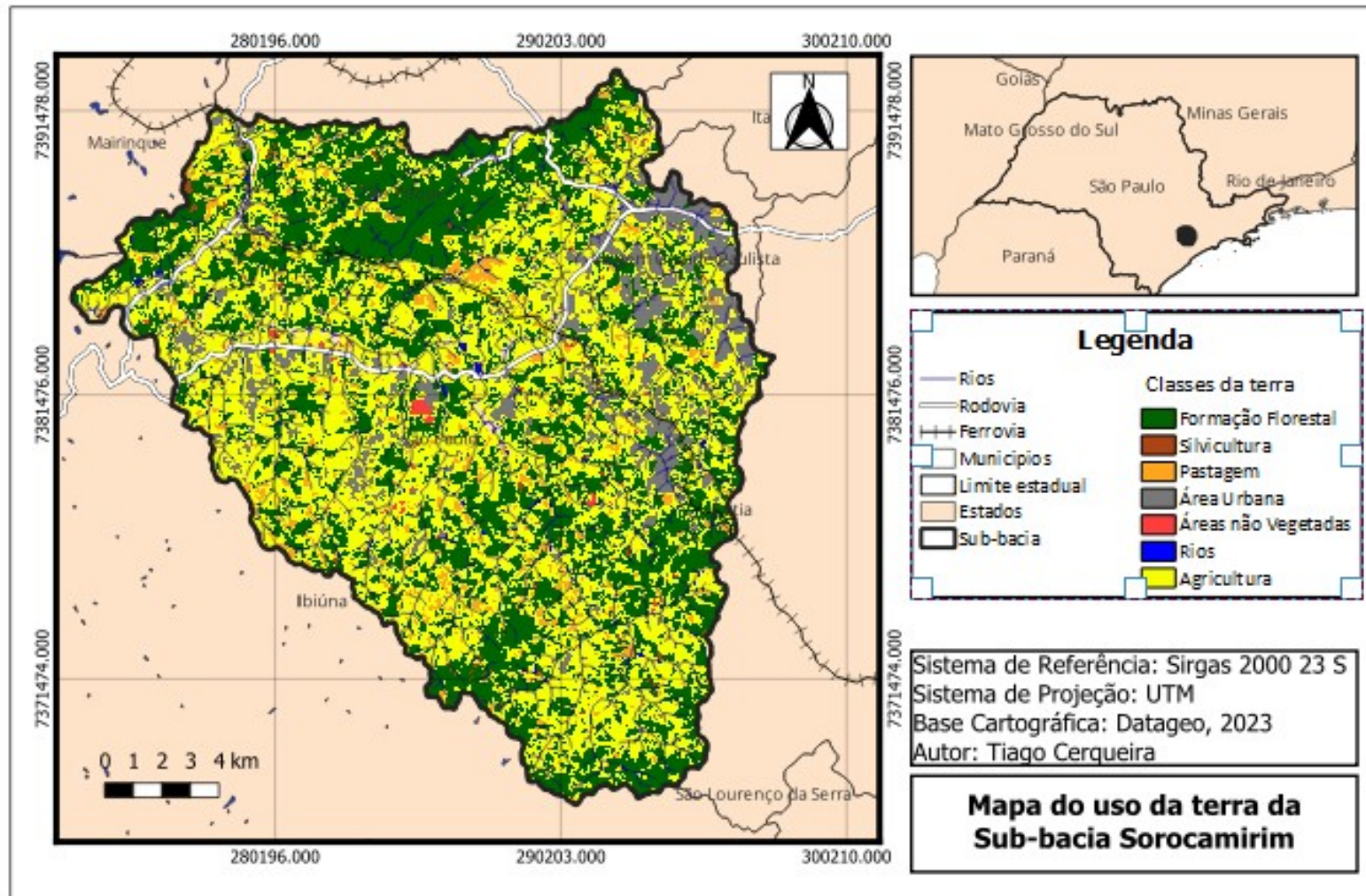


Fonte: Autor, 2023

O mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Sorocamirim (Figura 12) apresenta grandes áreas de uso para agropecuária perto de rios com fluxos de energia variáveis, em áreas de planície e também topos de planaltos. De acordo com o Quadro 9, as áreas agrícolas ocupam 104,70 km² e as áreas de pastagem 16,42 km². Há grandes áreas de florestas com 135,47 km² que se localizam em topos de morros, área com alta e média declividade e planícies fluviais. As áreas urbanas possuem 30,40 km² e se localizam em trechos com estradas e ferrovias.

É possível notar pelos mapas de uso da terra que todos os rios passam por áreas rurais, sendo que alguns nascem em áreas de cultivo agrícola e possivelmente sem áreas delimitadas de APPs (Áreas de Preservação Permanente). O rio Sorocamirim possui vários trechos represados, com usos para o setor agrícola.

Figura 13. Mapa de Uso da Terra da Sub-bacia Sorocamirim



Fonte: Autor

(2023)

Quadro 9. Principais usos da terra por sub-bacia em Km²

Sub-Bacia	Agricultura	Área urbana	Floresta	Pastagem	Mosaico de usos
Una	29,92	3,13	34,86	10,75	18,33
Sorocabuçu	50,69	4,28	105,00	13,38	27,75
Sorocamirim	104,70	30,40	135,47	16,42	74,56

O predomínio da classe agropecuária reflete uma das principais atividades econômicas realizadas nesses locais: a atividade agrícola (Figura 14) para produção de hortifrúteis. Nessas áreas se utilizam grande quantidade de fertilizantes e irrigação de alta vazão. As áreas ocupadas pela agropecuária são topos de morros e fundos de vale (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010) e também áreas próximas de estradas. O tamanho das áreas agropecuárias aumenta de forma proporcional à diminuição dos fluxos de energia dos rios. Os municípios da qual pertencem as sub-bacias possuem uma considerável população rural. O município de Ibiúna por exemplo, possui uma população que vive no espaço rural maior que no ambiente urbano (CBH-SMT, 2020), o que reflete nos altos valores da classe de uso para agropecuária em todas as sub-bacias. A sub-bacia Sorocamirim possui as maiores áreas de agricultura e pastagem e também considerável quantidade de água represada para cultivos agrícolas reforçando o uso predominantemente rural.

Segundo o IBGE (2023), os municípios Ibiúna, Cotia, São Roque e Vargem Grande Paulista, da qual pertencem as sub-bacias, tem como região de influência o município de São Paulo. O motivo é o escoamento dos produtos agrícolas para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo. Os principais acessos de escoamento ocorrem pelas rodovias Raposo Tavares e Castelo Branco.

Figura 14. Área de produção agrícola



Fonte: Fundação Florestal (2010)

As áreas de florestas se encontram bastante fragmentadas por causa da atividade agropecuária sendo que possuem maior continuidade em topos de morros e áreas de planícies aluviais. Os maiores fragmentos ocorrem nas maiores altitudes dos trechos de serra e na planície fluvial nos encontros do rio Sorocamirim e Sorocabuçu. Os trechos de estradas também causam fragmentação das áreas florestais dando lugar para áreas de plantio e estruturas urbanas. A sub-bacia Sorocamirim possui também as maiores áreas em razão da sua maior área em comparação às sub-bacias.

As áreas florestais dividem espaço com a silvicultura de espécies exóticas (eucalipto/Pinus) em espaços de topos de morros, médias vertentes e áreas com proximidade a estradas.

Figura 15. Área urbana consolidada de Caucaia do Alto



Fonte: (COTIAECIA, 2021)

As áreas urbanas consolidadas (Figura 15) estão presentes nos centros dos municípios de Ibiúna, Vargem Grande Paulista e distrito de Caucaia do Alto (distrito de Cotia). Essas áreas possuem infraestrutura física de iluminação, postos de saúde, comércio e população consolidada. Os mapas mostram que essas áreas estão localizadas principalmente em trechos de estradas e ferrovias. As áreas urbanas contam com retificação e canalização de rios alterando as características naturais dos canais fluviais.

Também aparece no mapa áreas não vegetadas que correspondem a estradas, galpões de empresas, áreas de mineração e abertura de loteamentos. É necessário destacar a ampliação de loteamentos que ocorrem nas sub-bacias e na APA. A abertura de novos loteamentos ocupa áreas de várzeas e relevos ondulados, preferencialmente em áreas de pastagens abandonadas, gerando novas pressões urbanas sobre as áreas naturais. A imediata consequência ambiental é a remoção dos remanescentes florestais (Figura 16).

O Quadro 9 mostra uma importante classe que são os mosaicos de uso. Estas áreas são notáveis por serem áreas grandes com 92,89 km², maiores que as áreas de pastagem 40,55 km² e áreas urbanas 37,81². Essa classe em geral refere-se a solos expostos em processo de preparação da sementeira. Porém, há relatos de pastos abandonados onde são utilizados fogo para limpeza do terreno (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010) o que configura como uma atividade agrícola não definida. Estas áreas também podem indicar a abertura de loteamentos residenciais

(Figura 15). A sub-bacia Sorocamirim se destaca pela alta quantidade de mosaico de solos seguidas da sub-bacia Sorocabuçu e em menor área a sub-bacia Una.

Figura 16. Abertura de loteamento sobre áreas florestais



Fonte: Foto do autor (2021)

Segundo Bernardi *et al.*, (2020) há um descompasso entre o plano de manejo da APA Itupararanga e os planos diretores dos municípios englobados. Os principais conflitos se referem às limitações de uso mais restritivas do PM em comparação aos planos diretores municipais.

5.3. Relação morfometria e uso da terra

Os resultados de drenagem mostram que as sub-bacias possuem densidade de drenagem média, pequenas áreas de coeficiente de manutenção (13,8 m; DP 0,15 e CV 1,08%) e baixa extensão média do escoamento superficial (555,58 m; DP 5,03 e CV 2,47%). Diante dos resultados, há baixos riscos de ocorrência de inundações nas sub-bacias. A análise do relevo também indica pouca tendência aos processos erosivos. Entretanto é necessária atenção para a mudança de uso e cobertura da terra. A elevada atividade agropecuária e de solo exposto tornam possíveis a ocorrência de processos pontuais de degradação. A identificação de solo

exposto nos mapas de uso da terra é um indicativo da degradação do solo e um passivo ambiental para a UC.

As sub-bacias possuem os mesmos problemas de fragmentação florestal e solo. Contudo a sub-bacia Sorocamirim se destaca pela alta quantidade de áreas destinadas para uso de atividades agropecuárias, espaço urbano e solo exposto. É possível perceber uma relação de grandeza, onde o aumento da área da sub-bacia é proporcional ao aumento dos problemas ambientais de atividade antrópica. A imediata consequência são danos ambientais refletidos em desmatamento, fragmentação florestal e degradação do solo. Esses dados são importantes para promoção de ações relacionadas aos recursos hídricos como ações de implantação de corredores ecológicos.

6. Conclusão

As sub-bacias Una, Sorocabuçu e Sorocamirim são importantes para a UC APA Itupararanga uma vez que estas sub-bacias ocupam uma área de 71,71% da APA. Portanto seu entendimento como unidade territorial pode auxiliar na melhor eficiência da gestão da UC.

A análise dos parâmetros morfométricos se mostraram uma metodologia complementar satisfatória para análise dos recursos hídricos das sub-bacias que fazem parte da APA. As sub-bacias estudadas possuem uma satisfatória rede hidrográfica para o escoamento e manutenção dos corpos hídricos. Os índices mostram pouca tendência a ocorrências de enchentes, favorável escoamento superficial, pequenas áreas de coeficiente de manutenção, baixa extensão média do escoamento superficial, pouca tendência para processos erosivos e de degradação da bacia em vertentes íngremes.

Mas este trabalho também identificou passivos ambientais de mudança de uso e cobertura da terra, com elevada fragmentação florestal, abertura de loteamentos residenciais, elevada quantidade de áreas de solo exposto e grandes áreas de uso para agropecuária. Estes danos ambientais podem gerar problemas ambientais pontuais de inundações e movimentos de massas nas sub-bacias no futuro.

Especial atenção e cuidados devem ser observados na preservação ambiental na APA, com ênfase para a sub-bacia Sorocamirim pelas altas quantidades de passivos ambientais.

7. Referências bibliográficas

ALESP. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

Repositório Disponível em:
<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>. Acesso em 30 mai 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas. Comitês de Bacia Hidrográfica. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica>> Acesso em: 22 mai de 2023.

ANA. Agências Nacional de Águas. Hidrologia Básica. Brasília, 2012. Disponível em: https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/2/Unidade_1.pdf. Acesso em: 21 mai 2023.

BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BERNADI, I. et al. Análise comparativa das ferramentas de gestão: Plano de Manejo da APA Itupararanga e os Planos Diretores Municipais. Sociedade & Natureza, v. 32, p. 72-87, 2022.

BEYRUTH, Z. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. Hydrobiologia, n. 424, p. 51-65, 2000.

BRASIL. Lei Nº 9433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

BRASIL. Lei Nº 9985, 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de

Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

CAMPANHARO, W. A. Diagnostico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES. 2010. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.

CHRISTOFOLETTI, A., Geomorfologia. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1974.

COTIAECIA. Ruas do centro de Caucaia do Alto estão sem sinalização viária há três meses. Disponível em: <https://www.cotiaecia.com.br/2021/01/ruas-do-centro-de-caucaia-do-alto-estao.html>. Acesso em 19 jul 2023.

DE OLIVEIRA DIAS, N. et al. Análise morfométrica de bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de superfície. In Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332. Vol. 11. No. 4 .pp. 23-35, 2019.

DUDLEY, N. (Editor). Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland: IUCN. WITH Stolton, S., P. Shadie and N. Dudley. 2008. 86 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos tropicais. Latossolos Vermelho-Amarelos. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelho-amarelos#:~:text=Os%20Latossolos%20Vermelho%20Amarelos%20s%C3%A3o,em%20profundidade%20\(Figura%201\)](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelho-amarelos#:~:text=Os%20Latossolos%20Vermelho%20Amarelos%20s%C3%A3o,em%20profundidade%20(Figura%201)). Acesso em 19 jul 2023.

FRAGA, M. S. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. Nativa, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.

FREITAS, L. E. et al. Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda. 96 p, 2015.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. Plano de Manejo APA Itupararanga. Fundação Florestal. São Paulo. 2010.

GALANTE, M.L.V.; BESERRA, M.M.L.; MENEZES, E. Roteiro metodológico de planejamento - Parque Nacional, Reserva Biológica, Estação Ecológica. Brasília: IBAMA, 2002.

GERBER, D. et al. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí – Santa Catarina. *Acta Biológica Catarinense*, v. 5, n. 1, p. 72-83, 2018

GOVERNO DE SÃO PAULO. Planos de Saneamento Básico. 2023. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/conesan/planos-de-saneamento-basico>>. Acesso em: 30 mai 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 jul de 2023.

JÚNIOR, N. B. Análise Morfométrica e Hidrológica da Bacia do Ribeirão Estiva, afluente do Rio Paraibuna, Juiz de Fora–MG. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. 2019.

MOSCA, A. A. O. Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas. 120 f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil. 2003.

OEKO. O que é uma Reserva de Fauna. Dicionário ambiental. Disponível em: <https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/29246-o-que-e-uma-reserva-de-fauna/>. Acesso em: 27 abr. 2023.

OGASHAWARA, I. et al. Cyanobacteria detection in guarapiranga reservoir (São Paulo state, Brazil) using landsat tm and etm+ images. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, p. 224-238, 2014

OLSZEWSKI, N. et al. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. *Revista Árvore*, v. 35, p. 485-492, 2011.

PISSARRA, T. C. T. et al. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. Revista Árvore, v. 34, n. 4, p. 669–676, jul. 2010.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L.. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

SALIS, H.H. C. et al. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas -MG. Boletim Geográfico de Maringá, vol. 37, n. 2, p. 186-201, 2019.

SALLES, M.H.D. et. al. Avaliação Simplificada de Impactos Ambientais na Bacia do Alto Sorocaba (SP). REA- Revista de Estudos Ambientais. V.10, n.1, p.6-20, jan/jun, 2008.

SANTOS, A. M. et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 3, pág. 195-211, 2012.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of American Bulletin.1956.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Dados Gerais das Bacias Hidrográficas. 2023. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas#:~:text=Entende%2Dse%20por%20bacia%20hidrogr%C3%A1fica,%C3%A1guas%20as%20%C3%A1reas%20mais%20elevadas>>. Acesso em: 22 maio de 2023.

SEMIL. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. Guia de Áreas Protegidas. APA Itupararanga. 2023. Disponível em: <<https://guiadeareasprotegidas.sp.gov.br/ap/area-de-protecao-ambientalitupararanga>>. Acesso em: 24 maio de 2023.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sigrh. Divisão Hidrográfica. 2023. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>> Acesso em: 28 maio de 2023.

TOY, T. J.; Chuse, W.R. Topographic reconstruction: a geomorphic approach Ecological Engineering, vol 24, n 1-2, p.29-35, jan. 2005.

TRAJANO, S. R. S. et al. Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape.-Campinas, SP, 2012. 33 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Gestão Territorial. ISSN 2317-8779, 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

ZANATA, M. et al. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 1062-1067, 2011.